

# 高声压下二值逻辑电路系统设计

史 亮,赵英亮,庞存锁,王黎明,苏灿生

(中北大学 信息探测与处理山西省重点实验室,山西 太原 030051)

**摘要:**高声压二值逻辑电路是一种特殊类型的电路。为了处理来自高声压环境下的声信号,并能够对这些信号进行快速准确的逻辑处理,该文设计了一种成本较低、结构简单的处理声信号的二值逻辑电路系统,其输出为二值逻辑信号,处理时具有数据量小以及便于快速传输的特点,可以很好地满足对声信号实时处理的要求。系统设计时,根据传感器选择类型设计电路的各个模块,对信号进行放大和滤波处理,通过传感器对不同声压下的声信号的接收能力设置不同的电压阈值,根据不同阈值的触发状态可以快速地对声信号进行处理。此外,还通过模拟测试验证了设计的可行性。

**关键词:**高声压;二值逻辑;声信号处理;阈值比较

**中图分类号:**TB52

**文章编号:**1000-0682(2025)01-0003-05

**文献标识码:**A

**DOI:**10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.01.001

## Design of binary logic circuit system under high sound pressure

SHI Liang, ZHAO Yingliang, PANG Cunsuo, WANG Liming, SU Cansheng

(School of Information and Communication Engineering, North University of China, Shanxi Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** High sound pressure binary logic circuit is a special type of circuit. In order to process sound signals from high sound pressure environment, and to process these signals quickly and accurately, this paper designs a binary logic circuit system with low cost and simple structure. Its output is binary logic signal, and it has the characteristics of small data amount and easy to transmit quickly, which can well meet the requirements of real-time processing of sound signals. During the system design, each module of the circuit is designed according to the type of sensor selection, and the signal is amplified and filtered. Different voltage thresholds are set through the sensor for the receiving ability of the acoustic signal under different sound pressure, and the acoustic signal can be processed quickly according to the trigger state of different thresholds. In addition, the feasibility of the design is verified by simulation tests.

**Keywords:** high sound pressure; two-valued logical; acoustic signal processing; comparison of threshold

## 0 引言

声学是研究声音的发生、传输、接收和处理的一门学问。当声学进入各个应用技术领域,检测和处理声信号的重要性日益凸显。伴随着技术的进步,

经常需要对声信号进行深层的信息提取,所以对不同情况下的声信号的处理显得越来越重要。目前,高声压环境已经成为了一种常见的存在,如军事武器、航空航天及工业生产等领域都会产生 120 dB 以上的高声压。在高声压环境下,传统的电子设备往往难以正常工作,甚至可能发生性能下降或故障。而在这种环境下利用高声压信号可以稳定的控制系统和设备,研制强声武器<sup>[1]</sup>以及进行声定位<sup>[2]</sup>等。因此,对高声压信号进行快速有效的处理,设计出稳定和可靠的数字电路显得尤为重要。

目前对声信号的处理多为模拟处理。模拟处理的缺点是精度较差,信号处理能力低,功能单一且灵活性差,很难构成大型的实时信号处理系统。在实

收稿日期:2024-06-25

**基金项目:**国家自然科学基金青年基金项目(62203405);山西省基础研究计划项目(20210302123057);山西省应用基础研究计划项目(20210302124545;202303021212206);山西省重点研发计划项目(202202110401015)

**第一作者:**史亮(1997—),男,山西忻州人,硕士研究生在读,主要研究方向为声信号检测、电路设计。

E-mail: 465303918@qq.com

时运算和现场使用上亦存在运算速度、体积、重量、可靠性、稳定性及成本高等多方面的不足<sup>[3]</sup>。如文献[4-5]中,声信号用于检测输气管道泄漏和目标检测识别时需要处理大量信号,信号的提取和处理较为复杂,对于管道泄漏定位以及识别定位时效性较差。而多值逻辑计算模式理论上具有更强大的计算能力,可以提高电路的运算速度,降低电路实现的复杂性和数据量<sup>[6]</sup>,有利于快速处理数据,满足了用于声信号定位的时效性要求。该文设计了一种高声压二值逻辑电路,可以对高声压信号进行快速准确的传输和处理。

## 1 系统构架

以二值逻辑电路系统的设计为主,详细介绍了系统的各个模块及其作用,并根据现有的设备对系统进行测试。

该设计所使用的声传感器为直流电压供电,故直接采用直流分压形式为其供电。由于声传感器输出的电信号十分微弱,而且信号中还存在直流偏置和其他干扰噪声,所以需要放大和滤波处理。根据声信号距离声源不同距离的声衰减规律,距离越远,声衰减较大,声信号也就越弱,声传感器转换的电压就越低。声信号在转化为电压信号以后会有较好的区分度,进而利用比较器设置不同的电压阈值,根据不同声压下不同阈值的触发情况,通过使用多通道数据采集对数据进行采集,就可以快速的进行信号传输和处理。由于外场环境中情况比较复杂,通常存在多种干扰源而且数据需要经过长距离传输,所以在最后加入了一个单端转差分电路,便于数据的远距离传输,提高了抗干扰能力。整体电路结构如图 1 所示,主要分为放大电路模块、RC 滤波模块、比较器模块、单端转差分模块和电源转换模块。

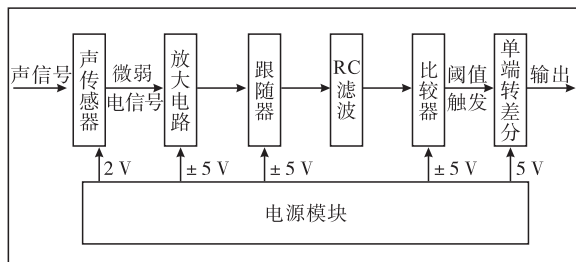


图 1 整体电路结构图

## 2 电路设计

### 2.1 声传感器的选择

在声信号处理中,声传感器的选择十分重要,直

接影响着系统的性能和准确度。选择声传感器需要考虑多个关键因素:(1)声传感器应具有广泛的频率响应范围,以确保能够捕获各种频率的声音信号;(2)灵敏度是确保系统能够准确检测声音信号的关键,从而提高信号的准确性;(3)动态范围应足够宽,以处理不同声音强度的情况;(4)成本也是考虑的重要因素之一。

经过综合考量选用驻极体麦克风,其具有体积小、结构简单、电声性能好以及价格低廉等特点,应用非常广泛<sup>[7]</sup>,具体参数如表 1 所示。

表 1 声传感器性能指标

指标项	参数
音头直径/mm	4
灵敏度/(mV/Pa)	10
频带/kHz	0.1 ~ 20.0
声场类型	自由场
动态范围/dB	52 ~ 145
输出阻抗/kΩ	≤2.2
工作温度/℃	-40 ~ +80

### 2.2 放大电路设计

放大电路主要由电源滤波部分、声信号放大部分和跟随器部分 3 部分构成,电路图如图 2 所示。

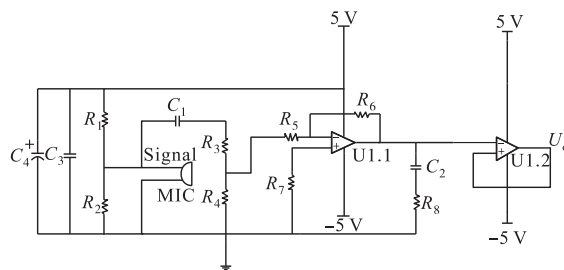


图 2 放大电路图

在电源和地之间接入滤波电容,用来滤除直流电源中的高频杂波和交流成分,以免电路态产生自激,能稳定电路工作状态,提高抗干扰能力。电源电压通过电阻  $R_1$  和  $R_2$  分压对声传感器供电,当传感器将声信号转换成交流电信号后通过电容  $C_1$  将电源中的直流成分滤除然后进入标准双路运算放大器  $U_1$  进行放大, $U_1$  采用反向输入比例运算电路,该电路基本放大器的共模输入信号电压为 0,对运放的共模抑制比要求低。其中  $C_2$  和  $R_8$  组成高通滤波,滤除第一级放大电路的高频干扰。然后在放大器后面加入电压跟随器,由于电压跟随器反馈深度深,输入阻抗高,输出阻抗低,可以很好的将经过放大后的信号与后续的负载电路隔离,减少干扰。电压放大倍数  $A_u$  为:

$$A_u = -(R_6/R_5) \quad (1)$$

### 2.3 RC 滤波电路设计

由于系统要被动接收声信号,需要预先将传感器安装在固定的位置。当有高声压信号产生时,声传感器不仅会接收到高声压源产生的声信号,还会因为环境中存在能量冲击导致声传感器所在墙壁震动对声传感器产生干扰。由于墙壁等的受迫震动对声信号产生的干扰大多集中在几十到几百赫兹低频范围,所以采用 RC 无源带通滤波电路,该电路通过利电容以及电阻连接构成,根据谐振的原理形成某频率下的低阻抗通路,能够滤除掉特定谐波,能够有效且合理的解决谐波问题。无源滤波还具有结构简单、经济性较好、不需要考虑运放自身带宽以及工作状态稳定优点<sup>[8]</sup>。设置带通范围为 2 ~ 8 kHz,图 3 所示为滤波电路图,其上限截止频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi R_{16} C_6} \quad (2)$$

下限截止频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi R_{17} C_7} \quad (3)$$

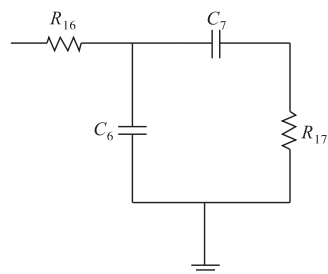


图 3 滤波电路图

### 2.4 多阈值电压比较电路设计

电压比较器是一种用于比较输入电压相对大小的电路元件。其独特之处在于其输出状态仅有高电平或低电平 2 种。这 2 种状态的选择完全依赖于输入信号与预设的阈值电压之间的大小关系。当输入的电压信号略微超过或低于这个阈值时,输出电压会发生一个跃变,从一个状态转变到另一个状态。尽管输入电压可能有连续的变化,但电压比较器的输出始终是离散的,只有两种状态。这种特性使得电压比较器在数字电路和逻辑运算中有着广泛的应用,特别是在需要快速响应电压变化并产生明确输出信号的场合<sup>[10]</sup>。

通过在电路中利用比较器设置不同的阈值电压对信号进行比较,以二值逻辑作为输出。根据每个传感器不同阈值的触发情况,实现对不同声压声信号强弱的划分。该设计输出为二值逻辑信号的数据量小,便于快速传输,且处理起来简单,便于对声信号进行实时处理。

在比较电路输入过程中,常常会有很小的波动电压,这些波动电压会对电路产生干扰,为此,比较器设置了多阈值,提高了抗干扰能力<sup>[11]</sup>。图 4 所示为多阈值电压比较器电路,信号由反向输入端输入,其中阈值电压为同向输入端  $U_+$  处的电压:

$$U_+ = \frac{V_{CC}}{R_9 + R_{10}} \times R_{10} \quad (4)$$

通过合理的设置  $R_9$  和  $R_{10}$  阻值的不同组合,再采用多路比较器设置多个阈值,来达到对声信号的多层次划分区域,提高定位的精准度<sup>[12]</sup>。

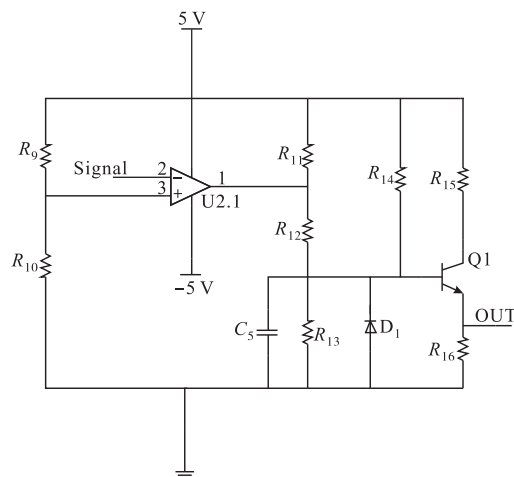


图 4 阈值比较电路结构图

### 2.5 单端转差分模块

在实际测试中,为了保障测试的安全性,采集设备距离高声压源的距离较远,需要通过远距离的线缆对数据进行传输,但是实际环境通常较为复杂,周边存在很多干扰源,单端信号在长距离传输过程中很容易受到干扰。而差分信号传输因其具有能有效抵抗外部共模干扰以及抑制偶次谐波失真等特点,在信号的长距离传输中更具有优势<sup>[13]</sup>。该设计采用 4 路差分线路驱动器 SN75174,如图 5 所示,采用 5 V 电源供电,其中引脚 1 和引脚 9 分别为低阈值信号输入端和高阈值信号输入端,引脚 2 和引脚 8 为同相输出端,引脚 3 和引脚 6 为反向输出端,输出的信号为原幅值 1/2。效果如图 6 所示。

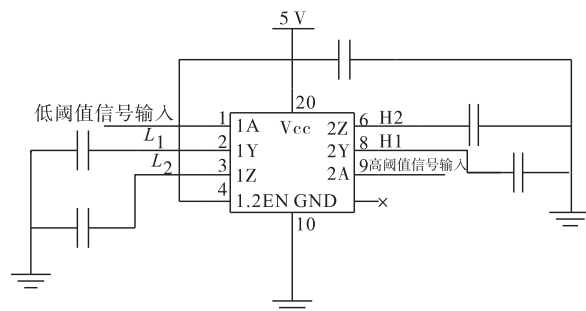


图 5 单端转差分电路图

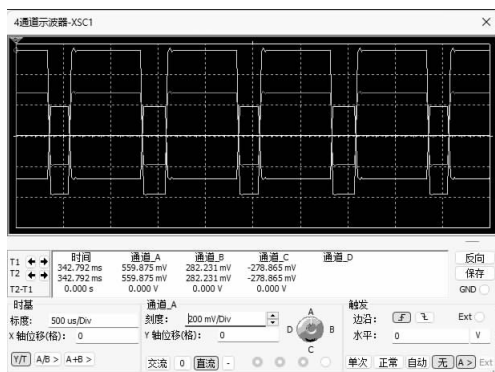


图6 单端转差分仿真图

## 2.6 电源转换电路设计

信号采集终端采用 12 V 直流电源对声传感器模块进行供电,通过 AMS1117 - 5.0 模块将电压从 12 V 降低至 5 V,直接为声传感器、放大模块、比较模块以及单端转差分模块进行供电。通过前期仿真和实际测试,发现比较模块在单电源供电时,输入信号幅值未达到阈值电压也会有杂乱的脉冲信号产生,使用正负双电源供电时则可以消除干扰。故采

用 ICL7660 电压转换器将 +5 V 电压转为 -5 V,为比较器模块进行双电源供电如图 7 所示。这种电压变换器主要特点为:反压、倍压(或多倍压)电路简单、外围元器件少、电压转换率高达 99.9% (电压反转)而且工作电压范围宽<sup>[14]</sup>,图 8 所示为总电路设计图。

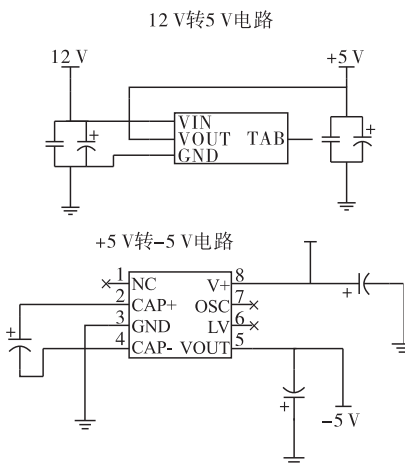


图7 电源转换电路图

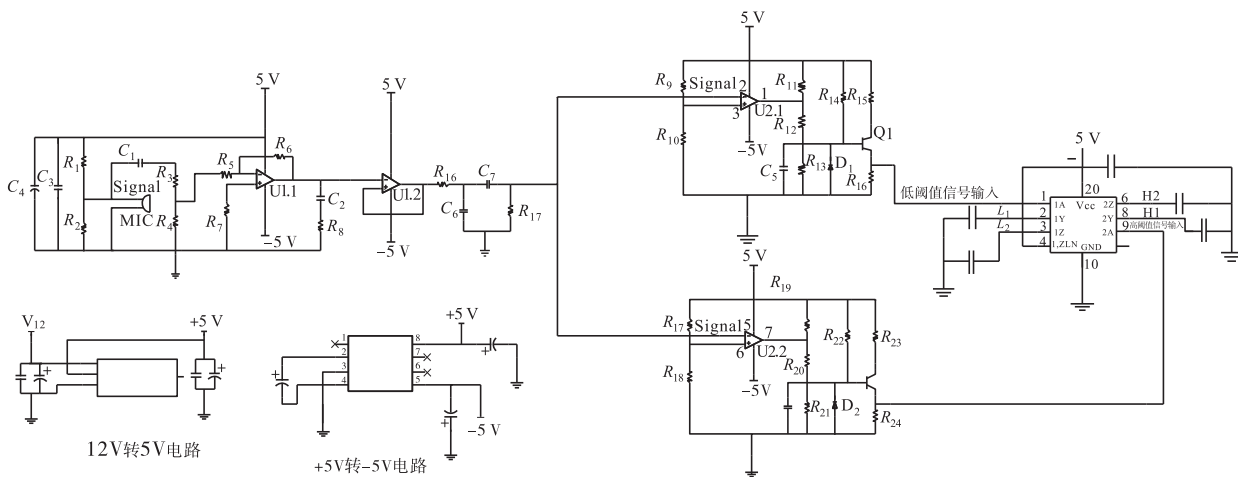


图8 电路总设计图

## 3 电路系统测试

为了合理的设置比较器的阈值,首先要对所使用的声传感器性能进行测试。采用杭州爱华仪器生产的以 AWA8552 高声压管为主的高声压校准系统进行测试(如图 9 所示),校准装置分为高声压产生和声信号处理 2 部分。声压产生部分由信号发生器、功率放大器、高声压管组成。声信号处理是上文设计的声传感器电路接收声音信号转化为电压,处理到 0 ~ 5 V 信号<sup>[15]</sup>。该高声压管输出最大声压级可达 176 dB, 155 dB 以下总谐波失真仅为 0.3%<sup>[16]</sup>。如图 10 所示,使用稳压源为电路提供 12

V 的直流电,将声传感器接入电路,并放置在高声压管输出口(并利用声级计测量此时输出的分贝值),测量在不同分贝时该传感器将声信号转化为电压信号的大小,将输出结果连接示波器观察其输出如表 2 所示。

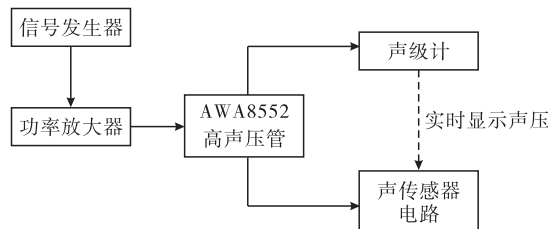


图9 高声压校准系统图





图 10 传感器测试图

表 2 传感器性能测试表

声压级/dB	传感器转换的电压/mV
90	8
100	17
110	25
120	56
130	198
140	442

表 2 所示电压为声传感器输入电路的初始电压,经过分压、放大、滤波后以 120 dB 和 140 dB 为阈值划分,此时电压大约为 1.0 V 和 3.2 V,将其设置为阈值电压。在设置好阈值电压后,重新使用高声压管输出声信号从 90 dB 开始递增,此时检测系统的输出,如表 3 所示。上述实验验证,该电路整体功能正常,可以实现高低阈值对信号的区分。

表 3 阈值触发情况

声压级/dB	低阈值	高阈值
115	未触发	未触发
125	触发	未触发
135	触发	未触发
145	触发	触发

4 模拟环境测试

为了进一步测试系统性能,在实验室内搭建测试平台进行测试。将做好的电路板外面加装保护外壳(如图 11 所示)放置在空旷地面上并在相同的位置放置声级计进行测量,然后通过数据线连接多通道数据采集,一方面为该电路供电,另一方面采集电路的阈值触发情况在上位机进行观察(如图 12 所示)。使用鞭炮在不同的距离下测试该电路功能是否正常。结果如表 4 所示。



图 11 电路系统实物图

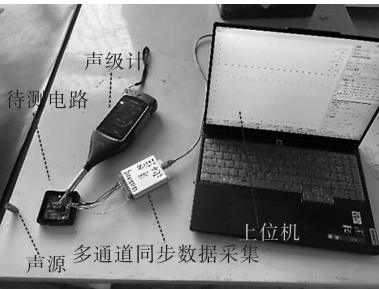


图 12 系统测试示意图

表 4 测试结果

声源与电路的距离/cm	声级计示数/dB	低阈值	高阈值
25	147	触发	触发
50	141	触发	触发
10	138	触发	未触发
20	132	触发	未触发
50	122	触发	未触发
100	115	未触发	未触发
300	106	未触发	未触发

经过上述实验验证,该电路系统在实际高声压环境下可以正常工作。

5 结语

该文介绍了高声压二值逻辑电路的设计原理和应用场景。高声压二值逻辑电路的设计对于在极端环境下的电子设备具有重要意义,其稳定性和可靠性对于许多关键应用至关重要。然而,系统仍然存在一些改进空间,如进一步优化电路设计,减小误差,提高系统的响应速度和适用范围;可以使用该系统做成声阵列,在目标范围内大量布置然后每个传感器模块设置多个阈值,根据阈值的触发情况(距离声源近的触发多,距离声源远的触发少)可以实现对靶区内声强范围的划分,再结合合适的阵列布置以及简单的算法便可以实现快速准确的高声压下的声定位。

(下转第 47 页)

法,实现了多种测量数据的实时采集、补偿及数据融合解调,达到了更高的环境适应能力及氧浓度的高精度测量,传感器工作寿命较普通电化学式传感器高出 2 倍以上。试验结果表明,新型氧气传感器能够实现环境温度  $-10 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  和大气压强  $50 \sim 120\text{ kPa}$  范围内的高精度测量,且测量精度优于  $2.0\%$ ,满足了煤矿井下对氧气浓度测量长寿命工作和高精度测量的需求,构建了一套完善的煤矿井下氧浓度检测技术及装备,有效地提高隐患及灾害信息的响应速度,降低现有检测技术维护难度和使用成本,对保障矿井安全生产,减少安全事故的发生具有重要作用<sup>[11]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 顾小波,唐明军,叶军明. 煤矿安全事故原因及对策[J]. 科技与企业, 2012(5):17.
- [2] 徐鹏. 矿井通风安全事故原因分析及对策研究[J]. 山东工业技术, 2018(06):55-57.
- [3] 张学典,王业生,伍雷,等. 基于非色散红外  $\text{CO}_2$  浓度测量的温度补偿研究[J]. 激光与红外, 2015, 45(4): 412-415.
- [4] 李忠友. 氧传感器的结构原理与检测[J]. 实用汽车技术, 2008(3):31-32.
- [5] 李学胜,卢欣春,罗孝兵,等. 荧光猝灭法溶解氧传感器的研制[J]. 自动化与仪表, 2013, 28(04):17-20.
- [6] 张广军,吕俊芳. 红外气体分析中环境影响的补偿方法研究[J]. 北京航空航天大学学报, 1996, 22(6): 655-659.
- [7] 周冬秋,肖韶荣,肖林. 基于荧光猝灭原理的光纤溶解氧传感器研制[J]. 光学与光电技术, 2013(8):64-66.
- [8] Sipocz N, Tobiesen F A, Assadi M. The use of artificial neural network models for  $\text{CO}_2$  capture plants[J]. Applied Energy, 2011, 88(7):2368-2376.
- [9] 杨建华,侯宏. 基于荧光猝灭原理的光学氧传感器[J]. 传感器技术, 2001, 9(20):21-24.
- [10] 杨亦睿. 基于荧光猝灭原理的溶解氧浓度传感器的研究设计[D]. 青岛:青岛理工大学, 2017:45-47.
- [11] 张远征. 基于温度自适应补偿技术的氧气传感器的研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2021(05): 8-11.

(上接第 7 页)

随着技术的不断进步和研究的深入,相信高声压二值逻辑电路将会在未来取得更加显著的进展,并为各种应用场景提供更好的解决方案。

#### 参考文献:

- [1] 莫硕. “强声”——武器装备新概念[J]. 兵器, 2011(1): 18-21.
- [2] 于国栋,王春阳,张月. 陆地靶场声定位系统布站图形优化方法[J]. 声学技术, 2021, 40(2):275-281.
- [3] 侯朝焕. 声信号处理新进展[J]. 物理学进展, 1996, 16(3): 578-584.
- [4] 王云刚,宋代东,李兵兵,等. 声发射法检测输气管道泄漏的研究综述[J]. 安全与环境学报, 2024(3): 1114-1127.
- [5] 郭磊,林啸宇,王勇,等. 基于深度学习的直升机旋翼声信号检测与识别一体化算法[J]. 电子科技大学学报, 2023, 52(6):925-931.
- [6] 吴海霞,李凌宇,王天,等. 基于四值逻辑的伽罗华域  $\text{AB} + \text{C}$  电路设计[J]. 北京理工大学学报, 2022, 42(1): 83-88.
- [7] 束长干. 基于麦克风阵列的室内语音定位与跟踪[D]. 北京:邮北京电大学, 2012.
- [8] 李明勇,魏爱娟,兰江. 一种高 Q 值单频水声信号放大提取电路的设计[J]. 数字海洋与水下攻防, 2018, 1(2): 76-80.
- [9] 刘晓悦,王泰达. 电气化铁路谐波抑制的无源滤波器设计[J]. 机械设计与制造, 2023(6):219-223.
- [10] 陈超,李冰,司听璐. 基于迟滞比较器的双阈值稳压供电控制电路[J]. 探测与控制学报, 2015, 37(4): 30-33.
- [11] 武佳宏,王黎明,庞存锁,等. 阵列式炸点声音定位系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23(6): 88-91.
- [12] 贾志超,赵丽,何兴霖,等. 一种基于滞回比较的过温保护电路设计[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(8): 125-128.
- [13] 林骏桥,马淑欣,王旭光. 水声传感器调理电路设计[J]. 现代电子技术, 2023, 46(24):13-18.
- [14] 方佩敏. 通用贴片式器件及应用电路(四)电压变换器 ICL7660 及 ICL7662[J]. 电子世界, 2004(4): 43-44.
- [15] 任勇峰,樊瑞瑞,贾兴中. 高声压噪声传感器的校准[J]. 电子测量技术, 2020, 43(21):182-186.
- [16] 杨晓伟,闫磊,朱刚,等. 声强测量仪高声强级校准方法研究[J]. 宇航计测技术, 2012, 32(4):43-45.